

IMPLEMENTASI PROTOTIPE ALAT UKUR KERENTANAN LISTRIK (SUSEPTOMETER) BAHAN ANISOTROP BERBASIS KAPASITOR KEPING SEJAJAR

Implementation of Prototype suseptometer anisotropic based plate parallel capacitor

Oleh

Yuhelsa Putra¹, Roniyus M.S², Warsito²

¹Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

²Universitas Lampung

email: yuhelsa.putra@gmail.com

Abstract

The prototype chip capacitor as a parallel electric field sensors and sources, as well as the operational amplifier type of instrumentation. Prototype measuring devices are capable of measuring the electric susceptibility of dielectric material (wood and water), paraelectric (aluminum) and ferroelectric materials (iron).

Voltage magnitude of the measured material processed using a graphical method to obtain the value of the gradient. From this gradient an electric susceptibility values obtained material. Measurement values and theoretical comparison of the results obtained 0.9 ± 0.2 . The results of measurements of electrical vulnerability of wood close to the value 8, while the electric susceptibility measurement results obtained water at 81 ± 2 . The value of iron and aluminum electric susceptibility values approaching infinity. Value of electric susceptibility of these materials tend to approach the value of his theory, it is feasible prototype gauge used to measure the electric susceptibility of dielectric materials, ferroelectric paraelectric and especially iron.

Keywords: suseptometer, capacitor plan paralell, prototype, anisotropy, suseptibility

PENDAHULUAN

Medan listrik di sekitar bahan mengakibatkan atom-atom pada bahan membentuk momen-momen dipol listrik. Banyaknya momen-momen dipol listrik per satuan volume bahan disebut polarisasi bahan (Sarwate, 1990).

Proses polarisasi tersebut mengindikasikan bahwa bahan memberikan respon terhadap adanya medan listrik di sekitar bahan. Respon bahan terhadap medan listrik ini disebut dengan kerentanan

listrik, sedangkan respon bahan terhadap medan magnet dari luar bahan disebut kerentanan magnetik. Sejauh ini telah dilakukan penelitian mengenai pengaruh medan listrik terhadap bahan anisotrop. Bahan anisotrop adalah bahan yang memiliki nilai kerentanan listrik yang berbeda untuk arah medan yang berbeda pula, sedangkan bahan isotrop memiliki nilai kerentanan listrik yang sama walaupun arah medannya berbeda. Para ilmuwan lebih menggemari bahan anisotrop sebagai objek

studi dikarenakan bahan anisotrop merupakan jenis bahan yang banyak ditemukan di alam semesta, seperti kayu, plastik, aluminium, besi dan lain-lain.

Para ilmuwan yang telah melakukan penelitian dibidang ini antara lain, Perkalskis dan Freeman (1998) melakukan penelitian mengenai permitivitas dielektrik atau kerentanan listrik dan hambatan pada kayu dalam bentuk tensor. Tahun 2001, Dahlan *dkk* mengamati sifat dielektrik beras dengan cara menentukan permitivitas beberapa jenis beras, dan Soepriyono melakukan pengukuran sifat dielektrik tepung kacang hijau tahun 2002 dalam bentuk skalar.

Berdasarkan penelitian-penelitian tersebut, maka penelitian ini dimaksudkan untuk mencari nilai-nilai kerentanan (susceptibilitas) listrik bahan dalam bentuk tensor rank-2 (karena berupa bahan anisotrop), dengan cara merancang alat ukur kerentanan listrik suatu bahan (susceptometer). Prototipe ini mampu mengukur kerentanan listrik bahan logam (paraelektrik dan feroelektrik) sedangkan penelitian-penelitian sebelumnya hanya mampu mengukur kerentanan bahan dielektrik saja. Alat ini diharapkan dapat membuktikan bahwa semua bahan yang terdapat di alam semesta bersifat anisotrop.

METODE PENELITIAN

Proses Polarisasi

Polarisasi mengidentifikasi keberadaan medan listrik telah terkutubkan (polar). Polarisasi ini terjadi karena medan listrik cenderung memisahkan muatan positif dan muatan negatif di dalam atom. Pada proses pemisahan muatan positif (inti) dan negatif (elektron terikat) tersebut, elektron-elektron terikat di dalam atom bergeser dari kedudukan setimbangnya dengan jarak yang lebih kecil daripada diameter atom. Hasil akhir dari pembentukan momen-momen

dipol listrik ini adalah terjadinya penumpukan muatan positif dan muatan negatif pada sisi-sisi yang berbeda pada bahan. Proses ini sering disebut dengan polarisasi bahan. Nilai polarisasi bahan \bar{P} besarnya sebanding dengan \bar{E} :

$$\bar{P} = \epsilon_0 \chi_e \bar{E} \quad (1)$$

kerentanan listrik bahan (χ_e) merupakan respon bahan terhadap medan listrik eksternal sehingga menghasilkan tumpukan muatan pada permukaan-permukaan bahan

tersebut akan menghasilkan medan listrik baru di dalam bahan (\vec{E}_b) yang arahnya berlawanan dengan medan listrik dari luar bahan (\vec{E}_c)

$$E_r = E_c - E_b \quad (2)$$

Tentunya, semakin kuat E_c maka semakin kuat pula E_b sehingga E_b dapat dinyatakan sebanding dengan E_c yang berarti pula E_b sebanding dengan E_r (Soedjojo, 2000) sehingga dapat dituliskan menjadi

$$E_b = \chi_e E_r \quad (3)$$

Kemudian, substitusi pers. (3) ke pers. (2) akan didapatkan hubungan

$$E_r = E_c - \chi_e E_r \quad (4)$$

sehingga

$$E_r = \frac{E_c}{(1 + \chi_e)} \quad (5)$$

mengingat

$$E_c = \frac{V_c}{d_c} \quad \text{dan} \quad E_r = \frac{V_b}{d_b} \quad (6)$$

serta dengan menyelesaikan pers. (5) dan pers. (6) maka diperoleh :

$$V_b = \left(\frac{1}{1 + \chi_e} \right) \frac{d_b}{d_c} V_c \quad (7)$$

Pers. (7) merupakan persamaan yang digunakan sebagai konversi nilai tegangan keluaran menjadi nilai-nilai kerentanan listrik. Kerentanan listrik yang telah dibahas sebelumnya merupakan kerentanan listrik untuk bahan berjenis isotrop artinya nilai-nilai setiap komponen untuk ke semua arah adalah sama. Pada bahan bersifat anisotrop nilai-nilai untuk setiap komponen berbeda ditinjau dari segi arahnya.

Bentuk umum hubungan antara \vec{P} , χ , dan \vec{E} untuk bahan anisotrop (Wangsness, 1986) adalah

$$\begin{aligned} P_x &= \epsilon_0 (\chi_{xx} E_x + \chi_{xy} E_y + \chi_{xz} E_z) \\ P_y &= \epsilon_0 (\chi_{yx} E_x + \chi_{yy} E_y + \chi_{yz} E_z) \\ P_z &= \epsilon_0 (\chi_{zx} E_x + \chi_{zy} E_y + \chi_{zz} E_z) \end{aligned}$$

atau

$$\begin{bmatrix} P_x \\ P_y \\ P_z \end{bmatrix} = \epsilon_0 \begin{bmatrix} \chi_{xx} & \chi_{xy} & \chi_{xz} \\ \chi_{yx} & \chi_{yy} & \chi_{yz} \\ \chi_{zx} & \chi_{zy} & \chi_{zz} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_x \\ E_y \\ E_z \end{bmatrix} \quad (8)$$

Dari pers. (8) dapat dijelaskan bahwa, jika bahan dikenai oleh medan listrik eksternal pada arah sumbu x maka polarisasi bahan dapat muncul pada arah sumbu x , sumbu y dan sumbu z . Demikian halnya dengan medan listrik yang diarahkan pada arah sumbu y , dapat menimbulkan polarisasi pada arah sumbu x , sumbu y dan sumbu z . Medan listrik eksternal yang diarahkan pada sumbu z juga dapat menghasilkan polarisasi pada arah sumbu x , sumbu y dan sumbu z .

Pembuatan Kapasitor Keping Sejajar

Kapasitor dibuat menggunakan papan sirkuit PCB dengan ukuran (5x5) cm, yang kemudian dihubungkan dengan

sumber DC tegangan tinggi. Sumber tegangan ini memiliki variasi tegangan sampai 10k Volt, tujuannya adalah memvariasikan nilai tegangan pada kapasitor untuk menghasilkan variasi kuat medan listrik yang dihasilkan dan perubahan terhadap respon bahan. Bahan diletakkan di antara kapasitor keping sejajar sehingga medan listrik yang dihasilkan mengenai bahan. Pengukuran beda potensial bahan dilakukan pada arah yang berbeda-beda dengan menggunakan rangkaian lengkap sistem penguat instrumentasi yang digunakan.

Pengkondisian Sinyal

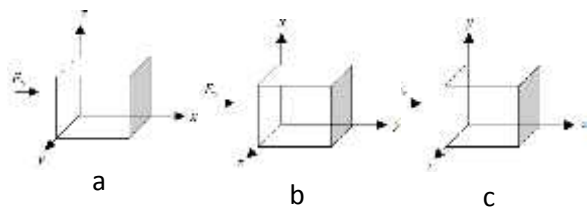
Rangkaian pengkondisian sinyal yang digunakan adalah rangkaian penguat instrument. Penguat instrumentasi ini digunakan ketika impedansi masukannya sangat tinggi sehingga tegangan masukan yang diukur sangat kecil. Penguat ini mampu mengukur tegangan hingga mikroVolt akan tetapi tidak dapat mengukur tegangan masukan lebih dari 1 Volt. Penguat instrumentasi mengenal tegangan masukan 1 Volt sebagai tegangan yang tinggi sehingga pembacaan pada output tidak stabil/tidak terukur.

Tipe IC op-amp yang digunakan dalam penelitian ini adalah UA741CN buatan *ST Microelectronics*. Idealnya, karakteristik *IC op-amp* yang baik adalah memiliki perbedaan tegangan antara input V_{cc+} dan V_{cc-} adalah nol dan resistansi masukan yang tinggi dengan resistansi keluaran yang rendah sehingga IC ini dapat bekerja dengan benar (Widodo, 2002). Berdasarkan karakteristik IC op amp UA741CN maka masukan catu daya untuk IC op-amp tipe ini adalah ± 9 Volt.

Op-amp UA741 yang sering digunakan oleh banyak praktisi elektronika memiliki karakteristik tipikal *open loop gain* sebesar $10^4 \sim 10^5$. Penguatan yang sebesar ini membuat op-amp menjadi tidak stabil,

dan penguatannya menjadi tidak terukur (*infinite*). Disinilah, peran rangkaian *negative feedback* (umpan balik negatif) diperlukan, sehingga op-amp dapat dirangkai menjadi aplikasi (*inverting* dan *non-inverting*) dengan nilai penguatan yang terukur (*finite*).

Pengukuran Suseptibilitas Listrik

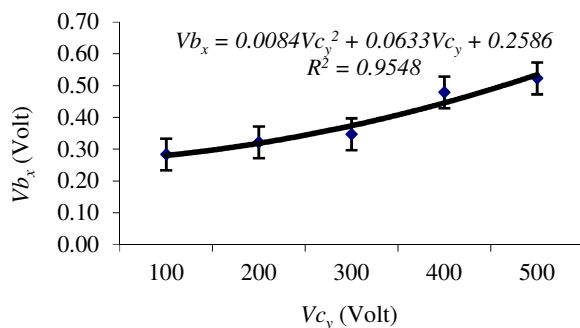


Gambar 1. Pengukuran arah: a. sumbu x b. sumbu y dan c. sumbu z



Gambar 2. Skema Pengambilan Data

Mengatur dan mengubah tegangan dari sumber tegangan tinggi DC sehingga

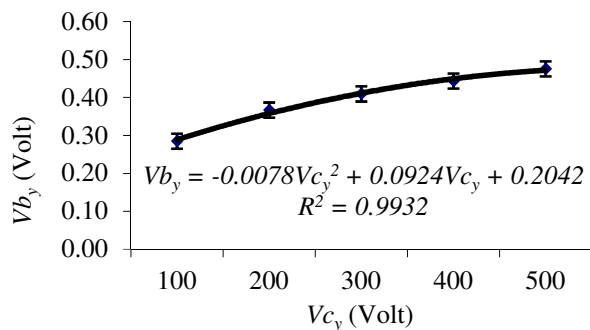


didapat variasi kuat medan listrik kapasitor (E_c). Mencari perubahan tegangan pada bahan (V_b) yang diberi medan listrik pada arah sumbu x , y , z bahan untuk \bar{E} pada arah x , bahan diletakkan dalam medan listrik luar pada arah sumbu x kemudian diukur tegangan pada arah x , y , dan z , hal yang sama pada arah sumbu y dan z .

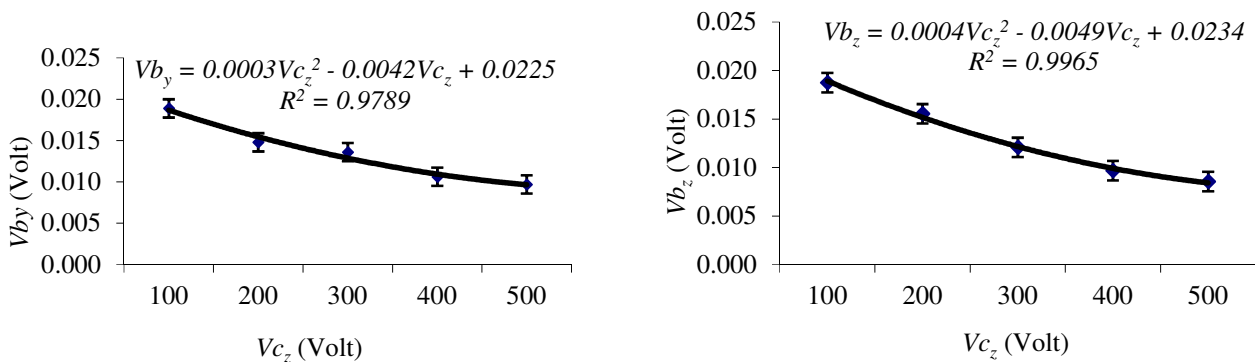
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran kerentanan listrik pada arah xx , yx , dan zx mampu mengukur kuat medan listrik hingga 900 Volt sedangkan pengukuran selanjutnya dilakukan sampai dengan tegangan 500 Volt, dengan tujuan menghindari kejenuhan IC akibat banyaknya pengambilan data yang berulang-ulang. Pada penelitian ini pengulangan data dilakukan sebanyak 5 kali. Dalam pengambilan data, pengukuran bahan pada tiap arah sumbu dilakukan dalam selang waktu beberapa menit dengan maksud untuk mengembalikan proses polarisasi yang telah terbentuk sebelumnya ke keadaan semula.

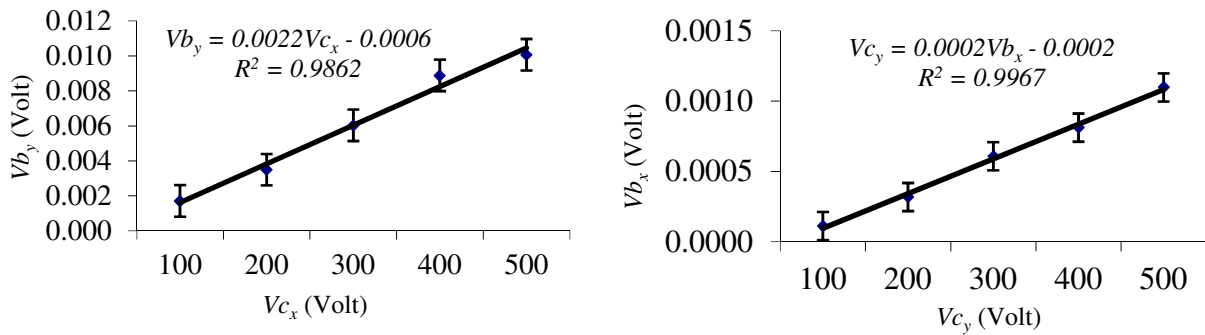
Data yang telah didapatkan kemudian diolah ke dalam bentuk grafik sehingga diperoleh persamaan garis, dari gradiennya dapat ditentukan kerentanan listrik bahan tersebut. Dari pengolahan data gradien ini didapatkan nilai kerentanan listrik bahan.



an bahan kerentanan listrik kayu χ_{xy} dan χ_{yy}



Gambar 3. Grafik tegangan kapasitor dan bahan kerentanan listrik aluminum χ_{yz} dan χ_{zz}



Gambar 4. Grafik tegangan kapasitor dan bahan kerentanan listrik besi χ_{yx} dan χ_{xy}

Kerentanan Listrik Kayu

Pengukuran kerentanan listrik pada arah xx , yx , dan zx mampu mengukur kuat medan listrik hingga 900 Volt. Dari pengolahan data gradien ini didapatkan nilai kerentanan listrik kayu sebagai berikut

$$\chi_{ij} = \begin{pmatrix} 5 \pm 1 & 8 \pm 1 & 10 \pm 2 \\ 5.0 \pm 0.9 & 10 \pm 1 & 9 \pm 1 \\ 10 \pm 2 & 8.0 \pm 0.9 & 10 \pm 2 \end{pmatrix}$$

Kerentanan listrik kayu (berbentuk anisotrop) yang diperoleh dalam percobaan ini dapat dibandingkan dengan teori yang berbentuk isotrop yaitu dengan cara mengambil nilai kerentanan listrik χ_{xx} , χ_{yy}

dan χ_{zz} . Pengambilan arah sumbu ini disebabkan sumbu-sumbu tersebut dikenal

sebagai sumbu-sumbu utama, Artinya, sumbu koordinat medan listrik yang mengenai bahan tepat sama dengan arah sumbu pengukuran polarisasinya. Sebagaimana pada pengukuran bahan secara isotrop, arah sumbu koordinat medan listrik sama dengan sumbu koordinat pada pengukuran polarisasi bahan, sehingga diperoleh nilai perbandingan $k = 0.9 \pm 0.2$. Dari nilai perbandingan tersebut didapatkan nilai kerentanan listrik kayu yang sebenarnya adalah

$$\chi_{e_{ij}} = \begin{pmatrix} 5 \pm 2 & 7 \pm 2 & 9 \pm 3 \\ 5 \pm 2 & 9 \pm 2 & 8 \pm 2 \\ 9 \pm 3 & 7 \pm 2 & 9 \pm 3 \end{pmatrix}$$

Kerentanan Listrik Aluminium

Data yang diperoleh dari hasil percobaan ini tidak menampilkan grafik yang linier sehingga grafik yang dihasilkan adalah grafik polinomial. Dalam teori, bahan feroelektrik memiliki hubungan \bar{P} dan \bar{E} yang tak linier, hal ini berarti pengutuban yang ditimbulkan oleh intensitas medan listrik bergantung dari bahan itu sendiri.

Selanjutnya, dari hasil pengolahan data gradien didapatkan nilai kerentanan listrik aluminium ini sebesar

$$\chi_{ij} = \begin{pmatrix} -380 \pm 18 & 250 \pm 10 & 150 \pm 8 \\ 60 \pm 5 & 65 \pm 5 & -140 \pm 8 \\ 75 \pm 6 & 60 \pm 4 & -120 \pm 7 \end{pmatrix}$$

Nilai kerentanan listrik aluminium yang sebenarnya (hasil kali dari nilai perbandingan k) adalah

$$\chi_{e_{ij}} = \begin{pmatrix} -340 \pm 90 & 230 \pm 60 & 140 \pm 40 \\ 50 \pm 6 & 60 \pm 20 & -130 \pm 40 \\ 70 \pm 20 & 50 \pm 10 & -110 \pm 30 \end{pmatrix}$$

Sembilan komponen kerentanan listrik aluminium ini memiliki nilai yang beragam. Keragaman nilai-nilai ini jelas menunjukkan bahan logam seperti aluminium bersifat anisotrop.

Kerentanan Listrik Besi

Pengambilan data tegangan besi ini berbeda terhadap pengambilan data sebelumnya. Pengambilan data dilakukan dengan cara meletakkan besi dalam medan listrik dengan hasil pengukuran tanpa penguat instrumentasi. Hal ini disebabkan

polarisasi pada besi dapat langsung terbaca oleh multimeter dengan keluarannya mencapai miliVolt, sehingga didapatkan nilai kerentanan listrik besi adalah

$$\chi_{ij} = \begin{pmatrix} 950 \pm 40 & 2300 \pm 90 & 3000 \pm 100 \\ 290 \pm 10 & 390 \pm 10 & 390 \pm 20 \\ 2900 \pm 100 & 2500 \pm 100 & 270 \pm 10 \end{pmatrix}$$

sehingga nilai kerentanan listrik besi yang sebenarnya (hasil kali dari nilai perbandingan k) adalah

$$\chi_{e_{ij}} = \begin{pmatrix} 900 \pm 200 & 2100 \pm 500 & 2700 \pm 700 \\ 260 \pm 70 & 350 \pm 90 & 400 \pm 100 \\ 2600 \pm 700 & 2300 \pm 600 & 240 \pm 60 \end{pmatrix}$$

Semakin besar tegangan sumber maka tegangan output besi semakin besar, sehingga grafik menunjukkan linier. Perubahan tersebut tentunya akibat bertambahnya densitas muatan pada permukaan besi akan tetapi dapat juga disebabkan karena adanya elektron yang tereksitasi. Berdasarkan literatur, semakin besar kuat medan listrik yang mengenai bahan penghantar maka elektron-elektron pada sisi-sisi penghantar dapat keluar dari permukaannya (Johannes, 1978) atau yang sering disebut dengan emisi medan listrik.

Penyebab lepasnya elektron dari bahan ialah gaya tarik medan listrik luar yang diberikan pada bahan lebih besar dari gaya elektron itu sendiri terhadap bahan (Sarwate, 1990). Hal ini pun dapat terjadi pada bahan dielektrik. Jika medan listrik eksternal sangat kuat, maka medan listrik tersebut akan menarik elektron sama sekali keluar dari atomnya, sehingga bahan menjadi penghantar (Reitz. dkk, 1993).

Kerentanan Listrik Air

Berdasarkan hasil pengukuran dan pengolahan data didapatkan nilai kerentanan listrik air adalah 81 ± 2 . Tampak bahwa nilai kerentanan listrik air adalah 80. Nilai ini menunjukkan keserasian antara nilai hasil pengukuran menggunakan prototipe alat ukur kerentanan (suseptometer) listrik terhadap teori.

Sensitifitas Alat Ukur Suseptometer

Sensitifitas suatu alat adalah bagian yang terpenting dalam pengukuran suatu objek. Pada penelitian ini sensitifitas alat ukur ini sangat sulit untuk dihitung karena alat yang mengukur tegangan bahan adalah kapasitor keping sejajar yang dibuat secara manual sehingga fungsinya bukan hanya sebagai sensor akan tetapi sebagai probe untuk mengukur nilai keluaran tegangan bahan. Faktor lain yang mempengaruhi sensitifitas alat adalah dalam proses pemilihan komponen IC op-amp. Sebagaimana telah diketahui sebelumnya bahwa penguat instrumentasi pada umumnya menggunakan IC op-amp dengan tipe INA 103 (IC ini terdiri dari tiga IC op-amp yang dikemas dalam satu IC), atau dengan menggunakan IC yang mendukung karakteristik IC INA 103. Pada penelitian ini belum ditemui IC yang berjenis sama, sehingga penguatan IC pada penelitian ini dirancang dalam model yang sama dengan IC yang berbeda. Selain itu, tidak sensitifnya sensor ini juga dipengaruhi oleh pengambilan data yang berulang-ulang. Ditinjau dari segi lamanya pemakaian, IC op-amp akan mengalami perubahan karakteristik karena terlalu sering digunakan dan hal ini menyebabkan berkurangnya sensitifitas dan tingkat akurasi.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Prototipe alat ukur kerentanan (suseptometer) listrik ini didesain dengan menggunakan penguat instrumentasi yang terdiri dari tiga IC op-amp berjenis UA741C dengan nilai kerentanan listrik bahan yang diperoleh dari pengukuran menunjukkan bahan bersifat anisotrop.

Saran

Untuk penyempurnaan penelitian selanjutnya, sensor yang digunakan pengukuran hendaknya menggunakan sensor medan listrik, dan jenis IC op-amp yang lain serta divisualisasikan dengan *Personal Computer (PC.)*

DAFTAR PUSTAKA

- Anonymous, 1994, *Data Sheet Operational Amplifier*, Phillips Semiconductors Netherlands.
- Bueche, F.J., 1979, *Introduction to Physics for Scientist and Engineers*, McGraw-Hill Book Company, New York.
- Chattopadhyay, D., 1989, *Dasar Elektronika dan Sensor*, Penerbit Universitas Indonesia, Jakarta.
- Cooper, W.D and Helfrick, A.D., 1990, *Modern Electronic Instrumentation and Measurement Technique*, Prentice-Hall International, Inc., London.
- Dahlan, K. Pramudito, S., dan Juansyah, J., 2001, *Ciri Sifat Dielektrik Beras*, Kontrak No. 11/P21PD/DPPM/III/2001, Jurusan

- Fisika, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Lovett, D., 1985, *Tensor Properties of Crystal*, John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Halliday, D. dan Resnick, R., 1986, *Fisika Jilid 2 Edisi 3*, Penerbit Erlangga, Jakarta, Penerjemah: Pantur Silaban, Ph.D dan Drs. Erwita Sucipto.
- Hughes, F.W., 1990, *Panduan Op-Amp*, PT. Elex Media Komputindo, Gramedia, Jakarta.
- Hayt, W.H., 1990, *Tekhnologi Elektromagnetika*, Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Johannes, H. 1978. *Listrik dan Magnet*. Penerbit Balai Pustaka. Jakarta.
- Mangunwiyoto, W., 1975, *Buku Pelajaran Fisika Jilid*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Manurung, S., dkk., 1994, *Teknik Elektronika*, Penerbit Angkasa, Bandung,
- Perkalskis, B.S., and Freeman, J.R., 1998, *American Journal Physics; Examining tensor in lab: The Dielectric Permittivity and Electrical Resistivity of Wood*. Amerika.
- Reitz, J.R., Milforda, F.J. dan Christy R.W., 1993, *Dasar-dasar Teori Listrik Magnet*, Penerbit Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Sarwate, V.V. 1990. *Electromagnetic Field and Waves*, John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Sears and Zemansky, *Handbook of Chemistry and Physics 26th edition*, John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Soepriyono, G., 2002, *Pengukuran Dielektrik Tepung Kacang Hijau Menggunakan Jembatan Wien*, IPB. Bogor.
- Suharto, 1995, *Teori Bahan dan Pengaturan Teknik*, Penerbit Rineka Cipta, Jakarta.
- Wangsness, R.K., 1986, *Electromagnetics Fields*, John Wiley and Sons, Inc., New York.